

Abaqus 熱固電模組於連結器產業之應用

李佳諺、陳宣豪、賴劭岡

慶良電子股份有限公司

中國文化大學機電研究所

慶良電子股份有限公司

摘要

隨著連結器產業的轉型，跨足到車用電子領域或工業用伺服器領域，連結器開始承受高電流負荷，而伴隨而來的溫升問題與電壓降問題，也開始困擾著連結器廠的工程師。本論文將針對負載30安培之高電流連結器進行溫升分析，本研究以CFD軟體進行表面熱對流分析，進而定出連結器之表面熱對流係數 h ，再將連結器匯入Abaqus進行熱固電耦合分析，本研究按照EIA-364-70A規範進行溫升測試並將測試結果與模擬分析結果比對，藉此確定分析及實驗結果之精確性。

關鍵字：高電流連結器、Abaqus、熱固電耦合分析

ABSTRACT

As the connector industry in transition into the field of automotive electronics and industrial server, connectors begin to withstand high current load, which results in temperature up and voltage drop issues and begins to haunt connector factory engineer. This paper will conduct the analysis of temperature rising for the high current connector with 30 amps loading. First, the CFD software will be applied to analyze the convection coefficient of connector can be decided out. Furthermore, the connector are transmitted into Abaqus software for temperature rising simulation. The temperature rising test in accordance with the EIA-364-70A specification is conducted and the test results are compared with simulation results. The accuracy of the analysis and the experimental results are validated by the results.

Keywords: High-Current Connector, Abaqus, Temp-Displacement-Electrical Coupling Analysis

一、前言

隨著時代的進步，科技發展亦隨之蓬勃，電子產品所要求的額定電流、電壓也不斷提高，由於連接器產業的轉型，跨足到車用電子領域或工業用伺服器領域，連接器亦開始承受高電流負荷，對於連接器要求的性能越來越嚴苛，針對溫升性能而言，又以電源供應器系列產品為對象之連接器更為分水嶺，因電源供應器主要負載皆為高電流，導致溫升條件比起一般電流負載連接器更為艱鉅，這也一直困擾著連接器廠的工程師。

二、研就動機與目的

當一個連接器從具有構想開始，直到接下來的產品圖面設計、生產模具設計、購買產品材料、開模製作出樣品，甚至樣品完成後所進行的眾多機械與電氣性能測試，無一不是需要投入公司資源之行為，而最終的產品若出現某項性能未達到規範之標準，都將導致產品最終無法上市販售，讓前期所投入之公司資源付諸流水，不論是人力資源或金錢與時間，對公司而言這無疑是一份不可忽視的傷害，而後續進行的產品改善，若是仍然按照過去的嘗試錯誤法 (Trial and Error) 進行改善，又會在調整與訂定製造參數上，投入更多的公司資源，而隨著時間與金錢大量的流逝，該產品所擁有之產品生命週期亦不斷減少，甚至是可能會出現該產品在市場上已經不具有任何生命週期的情況下才定出符合規範之產品，這是公司所不願見到的，因此若能採取電腦輔助分析模擬 (Computer-Aided Engineering, CAE)，提早在前期之設計端就模擬出瑕疵或問題，將可以有效地節省公司資源，以及使產品設計週期進展更為迅速，達到產品提早上市，使產品生命週期得以延長，並且節省下來之資源將會使開發成本有效地下降，使產品在市場上更加具有競爭力，進而為公司帶來更大的利益，而此論文之研究目的既為藉此研究來達到這點。

三、基本理論

3.1 溫升相關理論

理論公式如下：

歐姆定律
Ohm's Law :

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A_w} \quad (1)$$

焦耳定律
Joule's Laws :

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad (2)$$

牛頓冷卻定律
Law Of Cooling :

$$Q = hA_s(T_w - T_f) \quad (3)$$

熱力學第一定律
First Law Of Thermodynamics :

$$\Delta U = Q + W \quad (4)$$

R為模型電阻， ρ 為材料電阻率，L為路徑長度， A_w 為模型截面積，Q為產生之熱能，I為負載電流，t為通電時間，h為模型表面對空氣之熱對流係數， A_s 為模型與空氣之熱傳面積， T_w 為模型表面溫度， T_f 為空氣溫度， ΔU 為系統內能變化量，W為系統外所作之功。

由式(2)可以得知

$$Q \propto R \quad (5)$$

由式(3)可以得知

$$Q \propto \Delta T \quad (6)$$

所以

$$Q \propto R \propto \Delta T \quad (7)$$

3.2 接觸區域電阻與應力之變化關係

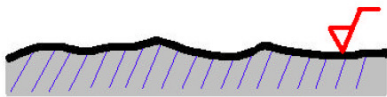
連接器公母端子接觸區域面積會隨著區域承載壓力之高低造成接觸阻抗之變化，而此現象同時也會導致該區域之溫度變化。

現實中的任何接觸平面皆是不完全光滑面，具有一定之粗糙度(圖一)，並且隨著接觸平面曝入在空氣中，該平面同時也會產生一薄膜氧化層(污染層)(圖二)。

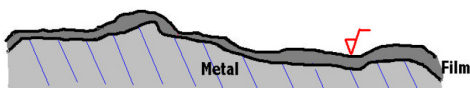
兩平面接觸時，會因為兩者平面之粗糙度、表面氧化薄膜，導致實際接觸區域(real contact area) (圖三)並不同於理想完全貼合平面區域(apparent contact area)。

電流在通過實際接觸區域時會因為電流通過之截面積縮減而造成電流集中的情形(圖四)出現，而此情形將會導致此區域的電阻上升。

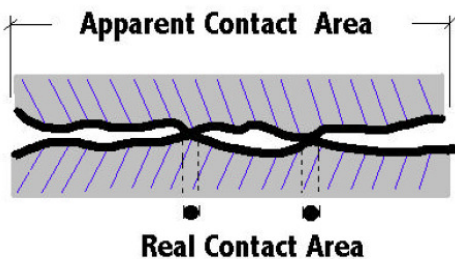
在接觸區域施加力量(壓力)，接觸平面會因為產生壓縮變形，隨著壓縮變形的產生，而實際接觸區域將會增加(圖五)，進而使該區域之電阻下降，更加趨近於理想接觸區域。



圖一 平面粗糙度



圖二 薄膜氧化層

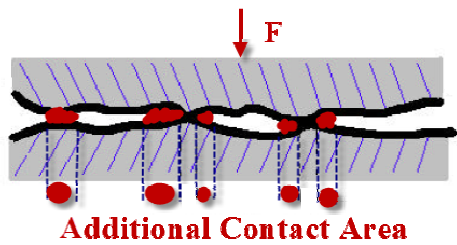


圖三 實際接觸區域



Constriction in Current flow due to Asperities

圖四 接觸區域電流集中現象



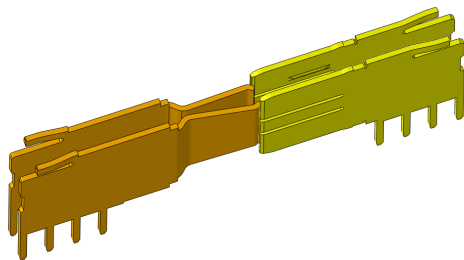
圖五 加壓後實際接觸區域

四. Coupled Temp-displacement, electrical 模組分析

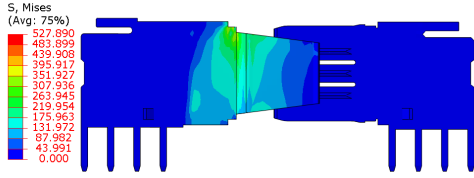
使用 Abaqus6.11 Coupled Temp-Displacement, Electrical 模組進行模擬分析，主要分析步包含有

結構部份：

連接器(圖六)在組裝過程中所產生的結構應力變化情形(圖七)。



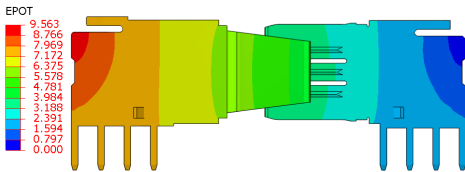
圖六 連接器端子模型



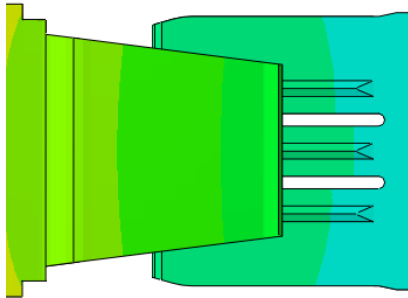
圖七 組裝後應力分布

電氣部分:

在組裝完成後施加定電流 30A 之負載電流，並且觀察連接器上電勢的變化情形(圖八)以及接觸區域隨應力而產生的電勢變化情形(圖九)。



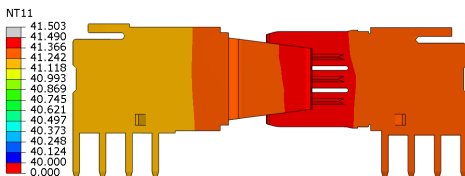
圖八 組裝後電動勢分布



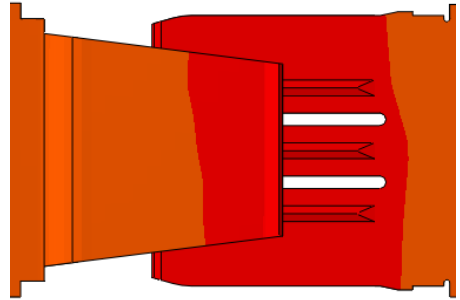
圖九 接觸區域變化情況

溫度部分

觀察連接器整體隨著負載電流而產生之溫度變化情形(圖十)以及接觸區域隨著應力而產生的電勢變化情形對溫度所造成的影響變化。(圖十一)

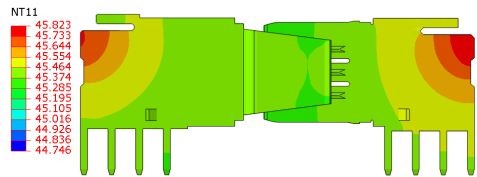


圖十 組裝後溫度分布

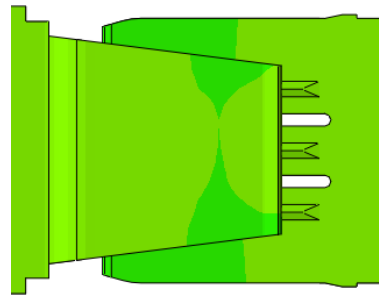


圖十一 接觸區域變化情況

過去使用熱電模組 Coupled Temp-electrical 所進行之模擬結果(圖十二)，由於未考慮結構應力部份之影響且接觸區域採用 Tip，所以可以發現此模組在接觸區域無法呈現實際接觸區域的變化情形(圖十三)，導致分析所得到的結果的正確性仍然與現實分布情況並不相符。

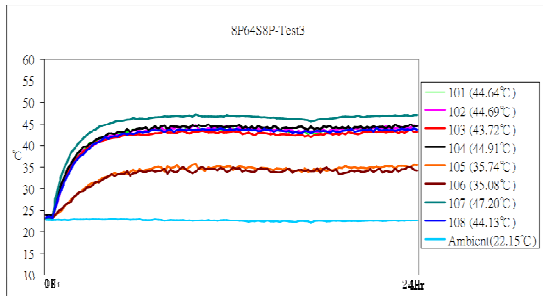


圖十二 熱電模組之溫度結果

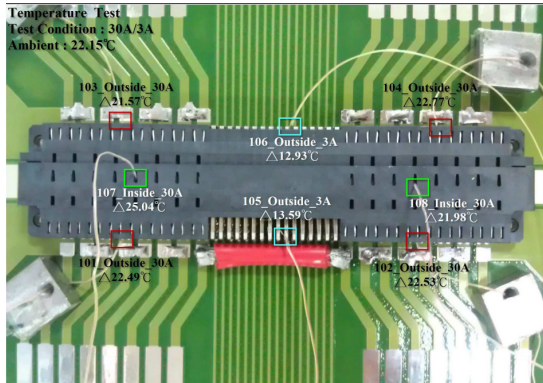


圖十三 熱電模組之接觸區域變化情況

以此連接器實物進行溫升測試，並觀察所得之實測結果(圖十三、圖十四)比較結果可以得知新模組-熱固電模組，因為加入了結構應力部份之影響，使結果更加貼近現實，端子接觸區域溫度確實為連接器整體最高溫區域，分析結果參考價值也更加可靠。



圖十三 溫升曲線



圖十四 各點最高溫度

五、結論

有限元素分析為了使結果更加接近於現實，以達到解決現實中的問題，皆逐漸由單一領域轉變為多元化的耦合分析，而過去傳統單一領域或是單純結合兩門領域之有限元素分析已無法解決目前工程上所面臨的問題，所以更加多元的耦合分析已漸漸成為新一波的主流，例如熱固電耦合，或是跨軟體之多重耦合等，所呈現的結果都更加符合現實中所出現之現象，所以結合各種不同的領域的有限元素分析技術是非常重要的，而藉由本研究的結果，可以得到以下幾項結論。

1. 對連接器而言，接觸區域所承受的壓力與該區域的電導率兩者間具有十分顯著之關係，同時也會影響到連接器本身的溫升性能，所以加入結構部份的模組所呈現之溫度分度趨勢，具有較高之參考價值。

2. 計算連接器溫升問題時，接觸區域所承受應力也是一項重要參數，不同的應力會導致不同的電導率，進而產生不同之溫升情形。

六、未來展望

連接器實體有著 16 組端子對，但礙於完整模型對於電腦性能要求過高且求解時間十分冗長，所以本研究使用單組端子對做為分析模型，未來在電腦硬體效能設備技術突破後，將可採用完整模組進行分析，藉此得知各組端子對相互間之影響，進而確認此設計在多組端子對同時承載電流時，是否會因為間隙不足，使單組端子對散熱效果不良，導致最終溫度上升。

七、參考文獻

- [1] Y. A. Cengel, heat transfer-a practical approach, 2nd edition, mcgraw- hill, 高立出版社代理, 2004.
- [2] thermodynamics fifth edition, y.a. cengel and m.a. boles, mcgraw-hill, 高立出版社代理, 2006.
- [3] electrical engineering principles and applications; allan hambley, pearson(高立圖書), 2008
- [4] fundamentals of contact resistance, part i – contact theory; advanced probing systems, inc. Technical bulletin – may 1999
- [5] wen-chung wang, cae engineer, fci taiwan, “thermal analysis on power connector” personal communication
- [6] eia temperature rise verse current test procedure for electrical connectors and sockets, eia standard 364-70b, 2007.
- [7] abaqus 6.10 documentation 7.2 joule heating analyses “thermal-electrical modeling of an automotive fuse,” section 7.2.1
- [8] quanfeng song, wenqi zhang, and niels bay, “an experimental study determines

the electrical contact resistance in resistance welding”, the welding journal, pp. 73-s-76-s may 2005

[9] january kister, “introduction to physics of contact resistance”, southwest test workshop - san diego, 1998

八、表格

銅材-K75	
Conductivity at 25°C	320.0 (W/mC)
Elastic Young's Modulus	11000(MPa)
Elastic Poisson's Ratio	0.341
Electrical Conductivity	4.0676E+07 (S/m)
Joule Heat Fraction	1
Plastic Yield Stress	333

表 1 材料特性表